



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014146838/28, 20.11.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.11.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.11.2014

(45) Опубликовано: 20.05.2016 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2410796 C1, 27.01.2011. US
2013206202 A1, 15.08.2013. US 7791157 B2,
07.09.2010. US 7888591 B2, 15.02.2011.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности, Маркс
Т.В.

(72) Автор(ы):

Абашев Ринат Мансурович (RU),
Мильман Игорь Игорьевич (RU),
Иванов Владимир Юрьевич (RU),
Сарычев Максим Николаевич (RU),
Сюрдо Александр Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

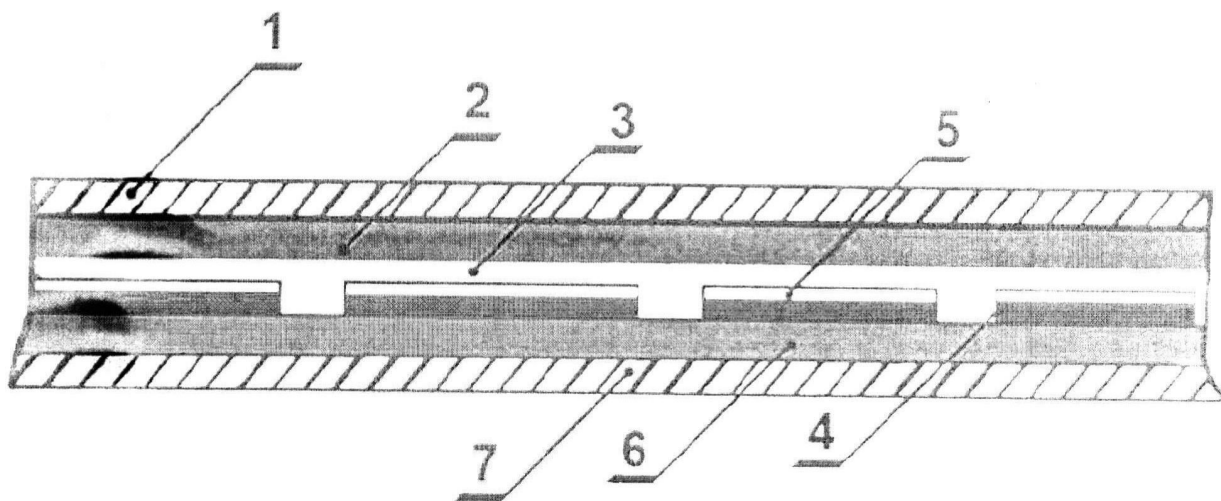
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина" (RU),
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки "Институт промышленной
экологии Уральского отделения Российской
академии" (RU)

(54) КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области гелиоэнергетики и касается конструкции фотоэлектрического модуля космического базирования. Фотоэлектрический модуль включает в себя нижнее защитное покрытие, на котором с помощью полимерной пленки закреплены кремниевые солнечные элементы с антиотражающим покрытием, и расположенное над лицевой поверхностью солнечных элементов верхнее защитное покрытие, которое скреплено с солнечными элементами промежуточной пленкой из оптически прозрачного полимерного материала. Со стороны лицевой поверхности

солнечных элементов и в антиотражающее просветляющее покрытие солнечных элементов введен оптически активный прозрачный полимер, содержащий антистоксовый люминофор. Верхнее и нижнее защитные покрытия выполнены из оптически активных кислородосодержащих материалов типа монокристаллического α - Al_2O_3 -х, способных к люминесценции, накоплению и высвечиванию светосумм при естественной оптической и термической стимуляции. Технический результат заключается в повышении эффективности при работе в цикле солнечный свет - темнота. 1 з.п. ф-лы. 9 ил. 1 табл.



Фиг. 1

RU 2584184 C1

RU 2584184 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 584 184** (13) **C1**

(51) Int. Cl.

H01L 31/041 (2014.01)

H01L 31/055 (2014.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2014146838/28, 20.11.2014

(24) Effective date for property rights:
20.11.2014

Priority:

(22) Date of filing: 20.11.2014

(45) Date of publication: 20.05.2016 Bull. № 14

Mail address:

620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, TSentr
intelektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.

(72) Inventor(s):

Abashev Rinat Mansurovich (RU),
Milman Igor Igorievich (RU),
Ivanov Vladimir JUrevich (RU),
Sarychev Maksim Nikolaevich (RU),
Sjurdo Aleksandr Ivanovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Uralskij
federalnyj universitet imeni pervogo Prezidenta
Rossii B.N. Eltsina" (RU),
Federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
uchrezhdenie nauki "Institut promyshlennoj
ekologii Uralskogo otdeleniya Rossijskoj
akademii" (RU)

(54) SPACE-BASED PHOTOVOLTAIC MODULE DESIGN

(57) Abstract:

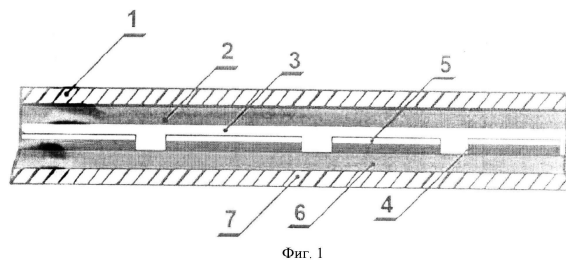
FIELD: energy.

SUBSTANCE: invention relates to design of space-based photovoltaic module. Photovoltaic module includes lower protective coating, on which by means of polymer film silicon solar cells with antireflection coating are attached, and located above front surface of solar cells top protective coating, which is connected with solar cells by intermediate film made from optically transparent polymer material. On side of front surface of solar cells and antireflection low-reflection coating of solar cells includes optically active transparent polymer containing anti-stokes luminophor. Top and bottom protective coatings are made of optically active oxygen-containing materials of

monocrystalline $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ type, capable of luminescence, accumulation and display of light at natural optical and thermal stimulation.

EFFECT: high efficiency during operation in cycle of sunlight - darkness.

2 cl, 9 dwg, 1 tbl



Изобретение относится к гелиоэнергетике, в частности к устройствам солнечных фотоэлектрических модулей для обеспечения электрической энергией космических аппаратов, работающих в условиях космоса, в том числе при нахождении области солнечной тени в полной темноте.

5 Техническим результатом изобретения является повышение эффективности солнечных элементов фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) космического базирования в полном цикле солнечный свет - тень.

Известные из литературы конструкции солнечных батарей условно можно разделить на три группы.

10 В первой применяются различные типы оптических концентраторов солнечного света на поверхности ФЭП, без изменения внутренней структуры фотоэлемента (Способы концентрации света, стр. 207, в кн. Г. Раушенбах. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 360 с. Солнечный фотоэлектрический модуль с концентратором и способ его изготовления. Патент RU №2130669. Оpubл. 20.05.1999).

Во второй усовершенствуются конструкции концентраторов солнечного света и полупроводниковая структура фотоэлемента (Пресс-релиз японской компания Sharp о создании и проведении испытаний солнечного фотоэлемента, имеющего рекордное значение коэффициента полезного действия (КПД), равного 44,4%, 2013 г. <http://www.newsfiber.com/p/s/m?msg=WRp8Yalrbw%3D>). Ранее, согласно пресс-релизу американского министерства энергетики, рекорд по эффективности преобразования солнечного света в электричество, равный 40,7%, принадлежал солнечной батарее, созданной в компании Boeing - Spectrolab (<http://akkumulyator.ru/articles51.html>). Технические решения, используемые компаниями Sharp и Boeing - Spectrolab, и полученные результаты близки. Суть их заключается в концентрации солнечного света, подаваемого на фотоэлемент, с помощью призмы Френеля и модификации структур фотоэлемента путем организации дополнительных гетеропереходов из нескольких слоев различных полупроводниковых материалов. Каждый из переходов вырабатывает напряжение на своей длине волны из спектра солнечного света. Суммарный эффект - использование более широкого спектра длин волн солнечного света для его преобразования в электрическую энергию, чем у обычных солнечных батарей.

Третья группа устройств ФЭП связана с введением в их конструкцию элементов из радиационно стойких материалов, выполняющих роль защитных покрытий, и материалов, преобразующих спектр солнечного света, чем достигается повышение срока службы и эффективности ФЭП. Именно такие технические решения являются аналогами предлагаемого изобретения.

Пример 1. Жесткое ультрафиолетовое (УФ) излучение Солнца вызывает потемнение защитных покрытий, выполненных из стекла, что приводит к снижению мощности светового потока, поступающего на фотоэлемент. Защитные покрытия солнечных элементов темнеют также под действием корпускулярных излучений. Наибольшие разрушения материалов защитных покрытий создаются под действием потоков электронов с энергиями 0,2-1 МэВ и протонов с энергиями 4-40 МэВ. Наименьшей радиационной стойкостью обладают органические покрытия, их применение ограничивается наземными условиями эксплуатации. Исследования показали, что в вакууме под действием УФ излучения с длиной волны 200-250 нм у защитных покрытий из окиси алюминия ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) наблюдаются минимальные повреждения. (Воздействие УФ-излучения на материалы, стр.279, в кн. Г. Раушенбах. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983 - 360 с.).

Пример 2. Солнечные батареи спутника Pioneer покрывались пленочным защитным стеклом толщиной 0.15 мм с покрытием, отражающим солнечный свет в голубой области спектра. Эта часть спектра не используется в работе ФЭП, но приводит к его
5
нежелательному нагреву (стр. 323, в кн. Г. Раушенбах. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. - М: Энергоатомиздат, 1983 - 360 с.).

Пример 3. Солнечные батареи спутников связи, входящих в систему раннего обнаружения (США), покрывались толстыми пластинками плавленного кварца. Для
10
долговременных спутников связи, толщина пластинок из плавленого кварца выбиралась равной 0.3 мм (стр. 341, в кн. Г. Раушенбах. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983 - 360 с.).

Пример 4. В ФЭП для космических аппаратов защитное стеклянное покрытие выполнено из бесщелочного алюмофосфатного стекла с предварительно встроенным
15
в него электрическим зарядом, создающим внутреннее электрическое поле, снижающее интенсивность электронных потоков, бомбардирующих ФЭП. Технический результат изобретения - продление ресурса ФЭП за счет снижения скорости радиационной
деградации полупроводникового элемента ФЭП (Полупроводниковый фотопреобразователь солнечной энергии для космических аппаратов (Патент RU №2144718. Оpubл. 20.01.2000).

В примерах 1-4 приведены существующие аналоги выполнения защитных покрытий
20
фотоэлектронных преобразователей ФЭП. Общим недостатком рассмотренных вариантов защитных покрытий является то, что их применение не предусматривает получение и использование дополнительной, относительно естественной солнечной энергии, поступающей на рабочую поверхность преобразователя. Конструкции ФЭП с такими защитными покрытиями остаются неработоспособными в области солнечной
25
тени.

Пример 5. Наиболее близким к предлагаемому изобретению является конструкция фотоэлектрического модуля (А.В. Алексеев и др. Патент RU №2410796. Оpubл. 27.01.2011. Бюл. 3), сущность которой поясняется чертежом (Фиг. 1.), где: 1 - верхнее
30
защитное покрытие; 2 - промежуточная пленка; 3 - оптически активный слой; 4 - кремниевые солнечные элементы; 5 - антиотражающее просветляющее покрытие; 6 - скрепляющая полимерная пленка; 7 - нижнее защитное покрытие. Верхнее защитное покрытие 1 выполнено из оптически прозрачного закаленного стекла толщиной 3,2 мм. Нижнее защитное покрытие 7 выполнено из оптически прозрачного полимера на
35
основе полиэтилентерефталата толщиной ~0,4 мм. Промежуточная 2 и скрепляющая пленки 6 выполнены из полимерного материала толщиной ~0,3 мм. Чувствительным элементом ФЭП являлись кремниевые монокристаллические солнечные элементы 4 с антиотражающим просветляющим покрытием 5.

Существенным признаком новизны данной конструкции является то, что между
40
верхним защитным покрытием и лицевой поверхностью солнечного элемента размещен активный слой 3, представляющий собой оптически прозрачный полимер, содержащий антистоксовый люминофор на основе редкоземельных элементов, $Y_{1,975-x}Yb_{0,025}Er_xO_2S$: $Ti_{0,12}MgO_{0,04}$. Технический результат, достигаемый при использовании данного люминофора, заключается в преобразовании инфракрасной части солнечного света в
45
видимую область с длинами волн $\lambda_1=546$ и $\lambda_2=670$ нм, оптимальными для работы ФЭП, и повышение тем самым его КПД. Варианты описанной конструкции включают дополнительное введение антистоксового люминофора в антиотражающее просветляющее покрытие солнечных элементов и в верхнее защитное покрытие.

Недостатком конструкции ФЭП, принятой за прототип, является то, что для ее работы требуется солнечное освещение. В области солнечной тени, в темноте, работа ФЭП становится невозможной.

Задачей предлагаемого изобретения является устранение недостатков описанной конструкции ФЭП и обеспечение его работоспособности в темноте и при солнечном освещении путем введения в конструкцию ФЭП оптически активных элементов, обеспечивающих приток световой энергии к рабочей поверхности ФЭП, рождающейся при их взаимодействии с космической радиацией.

Физической основой предлагаемого изобретения является комплекс люминесцентных явлений, возникающих при облучении оптически активных соединений потоками электронов и протонов высоких энергий, ядрами и ионами легких и тяжелых элементов, рентгеновскими и гамма-квантами, накопление светосумм в этих соединениях и их высвечивание при освещении солнечным светом, повышении и понижении температуры. При этом испускаемый в люминесцентных явлениях свет воспринимается ФЭП.

Достижение поставленной цели достигается использованием в качестве защитных покрытий материалов, сочетающих в себе свойства пассивных защитных покрытий, и комплексом люминесцентных свойств, таких как фотолюминесценция (ФЛ), радиолюминесценция (РЛ), ионолюминесценция (ИЛ), термолюминесценция (ТЛ), оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ). При этом материал покрытия должен обладать высокой радиационной и механической стойкостью, химической инертностью, хорошей теплопроводностью, сохраняющимися в температурном интервале $-200-(+400)^{\circ}\text{C}$. Сформулированным требованиям к свойствам материалов защитных покрытий в полной мере удовлетворяют монокристаллический оксид алюминия ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Главным, при выборе этого материала в качестве защитных покрытий ФЭП, является то, что его особая форма - анион-дефектный оксид алюминия, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ в отечественной и иностранной литературе), содержит уникальный набор структурных дефектов в атомном строении кристаллической решетки - кислородных вакансий в разных зарядовых состояниях. Образующиеся на их базе оптически активные центры люминесценции после облучения материала ионизирующей радиацией или солнечным излучением эмитируют свет при оптическом возбуждении (ФЛ, ОСЛ), облучении заряженными частицами, рентгеновскими или гамма-квантами (РЛ, ИЛ), повышении или понижении температуры (ТЛ). Образование центров люминесценции в кристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ связано с особенностью их выращивания в восстановительных условиях вакуума в присутствии углерода (Способ получения профилированных монокристаллов оксида алюминия для термолюминесцентной дозиметрии. А.с. СССР №1340365 от 22.05.1987. Авторы: Л.М. Затуловский, Д.Я. Кравецкий, И.И. Мильман и др.). Помимо центров люминесценции, в процессе выращивания в кристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ формируется система дефектов, выполняющих роль уровней захвата носителей заряда (ловушек). Такие ловушки способны захватывать образующиеся при облучении жестким ультрафиолетовым или ионизирующим излучением электроны, удерживать их в захваченном состоянии длительное время, причем количество захваченных электронов оказывается пропорциональным поглощенной дозе излучения. При подведении тепловой энергии к такой системе (ТЛ) захваченные на ловушки носители освобождаются, переходят в зону проводимости, где они становятся свободными, и откуда могут быть захвачены на центр люминесценции, переводя его в возбужденное состояние. Возвращение центра люминесценции в исходное, невозбужденное, состояние сопровождается излучением

света в полосе свечения, характерной для конкретного типа центра. Интенсивность излученного света также оказывается пропорциональной поглощенной дозе. Кристаллы получили широкое распространение в мировой практике в качестве детекторов для термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). Другим способом освобождения захваченных ловушками носителей заряда в зону проводимости (ОСЛ) является подведение к кристаллу дополнительной энергии в форме оптического излучения с энергией квантов, равных оптической глубине расположения уровней захвата в зоне проводимости кристалла. Энергия возбуждающих квантов при этом меньше, чем эмитируемых при релаксации центров люминесценции, возбужденных захватом электронов из зоны проводимости (ОСЛ).

В представленной ниже Таблице приведены современные сведения о центрах люминесценции в анион-дефектных кристаллах α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$, их символические обозначения, длины волн возбуждения и люминесценции.

Таблица

Символ центра	Длина волны возбуждения люминесценции, нм	Люминесценция, Нм
F	200-230	410-420
F^+	230-260	330
F_2	303	322, 517
F_2^{2+}	450	551
F_2^+	350	470, 540
Al_i	300	510
$\text{Cr}^{3+}, \text{Ti}^{3+}$	440	694-725

Физические основы происхождения и проявлений люминесцентных явлений, наблюдаемых в этих кристаллах под действием потоков ионизирующей радиации, света и температуры, описаны в отечественных и зарубежных научных публикациях (B.D. Evans. A review of optical properties of anion lattice vacancies, and electrical conduction in α - Al_2O_3 : their relation to radiation - induced electrical degradation. Journal of Nuclear Materials 219 (1995) 202-223; С. В. Соловьев и др. Термофотоиндуцированное преобразование центров люминесценции в анион-дефектных кристаллах α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$. ФТТ, 2012, т. 54, вып. 4, стр. 683-690; И.И. Мильман и др. Роль глубоких ловушек в люминесценции анион - дефектных кристаллов α - Al_2O_3 : С. ФТТ, 2008. т. 50. С. 1991-1995; в кн. Chen, R., McKeever, S.W.S.. 1997. Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena. Word Scientific Publishing Co, Singapore, pp. 560; в кн. E.G. Yukihara and S.W.S. McKeever. Optically Stimulated Luminescence. Fundamentals and Application. Wiley. 2011. pp.369).

Данные Таблицы показывают, что спектр люминесценции кристаллов α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$, возбужденный светом, содержащим компоненты солнечного излучения, значительно более широкий, по сравнению с приведенным в изобретении, принятым за прототип, имеющим только две полосы 540 и 670 нм. Данные полосы близки к люминесценции F_2^+ , Al_i и Cr^{3+} - центров в кристаллах α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$. Таким образом, ФЛ защитного покрытия на базе α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ под действием стимулирующего излучения Солнца будет являться дополнительным источником света по длине волны, попадающим в диапазон чувствительности кремниевого ФЭП. Главным в предлагаемом изобретении является

то, что, как показывают многочисленные экспериментальные исследования, проведенные в земных условиях, излучение света центрами люминесценции, приведенными в Таблице, возникает в реальном времени под действием потоков электронов, протонов, тяжелых заряженных частиц, гамма-излучения и нейтронов (РЛ и ИЛ) (О.А. Plaksin, V.A. Stepanov et. al. Radioluminescence of alumina during proton and heavy ion irradiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 206 (2003) 1083-1087; А.В. Кружалов, И.И. Мильман и др. ИонOLUMИНЕСЦЕНЦИЯ и образование центров окраски в монокристаллах α - Al_2O_3 под действием облучения протонами. Radiation Measurements 45(2010) 362-364; M. Malo, M.Morono, E.R. Hodgson. Ion bombardment induced surface electrical degradation monitoring by means of luminescence in aluminas. Fusion Engineering and Design 88(2013) 626-630; A. A. Morono, E.R. Morono. Oxygen trapping in electctron in irradiated sapphire. Journal of Nuclear Materials 307-311(2002) 1246-1249; V.A. Skuratov et. al. In situ luminescence as monitor of radiation damage under swift heavy ion irradiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 245 (2006) 194-200; А.И. Сюрдо и др. Особенности образования и электронная структура Al_i - центра в корунде. Укр. физ. Журнал. Т. 33, №6 (1988) 872-875).

При всех видах облучения материала защитного покрытия на основе α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ в центрах захвата накапливаются носители заряда, концентрация которых пропорциональна поглощенной дозе. При выходе из тени под действием солнечного света накопленные заряды освобождаются, попадают в зону проводимости, откуда они могут быть захвачены центрами люминесценции, приводя их в возбужденное состояние. Переход возбужденных центров в основное состояние сопровождается люминесценцией (ОСЛ), дополнительно освещая ФЭП. Освобождение зарядов с последующей эмиссией света может происходить из-за нагрева материала покрытия (ТЛ) под действием солнечного света, в том числе в области низких (-150°C) температур (А.В. Кружалов, И.И. Мильман и др. Оптически и термически стимулированная люминесценция кристаллов α - Al_2O_3 , облученных протонами. Письма в ЖТФ, 2008, вып. 18, 83-88; М.Н. Сарычев, В.Ю. Иванов, И.И. Мильман, А.И. Сюрдо. Аппаратурный комплекс для исследований термо- и фотостимулированных процессов при 4-500 К Проблемы спектрометрии и спектроскопии. Вузовско-академический сборник научных трудов. Выпуск 32, Екатеринбург, УрФУ, 2013, 77-83).

При изучении протонOLUMИНЕСЦЕНЦИИ кристаллов α - $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ (Циклотрон Р-7, УрФУ, $E=5,7$ МэВ, флюенс 10^{10} - 10^{16} см^{-2}) (А.В. Кружалов, И.И. Мильман и др. ИонOLUMИНЕСЦЕНЦИЯ и образование центров окраски в монокристаллах α - Al_2O_3 под действием облучения протонами. Radiation Measurements 45(2010) 362-364) авторами предлагаемого изобретения было обнаружено, что кристаллы в результате облучения становятся гамма-радиоактивными и люминесцирующими. Для идентификации образующегося радиоактивного изотопа измерялся энергетический спектр гамма-излучения (Фиг. 2. 1 - фон; 2 - спектр излучения ^{18}F), кривая распада, зависимость логарифма скорости счета от времени (Фиг. 3 кривая 1). Полученные данные, период полураспада, равный 110 мин, и доминирующая линия в спектре гамма-излучения 511 кэВ соответствовали излучательным параметрам позитрон-радиоактивного изотопа ^{18}F , образованный в результате ядерной реакции $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$. Полученный результат оказался достаточно неожиданным, поскольку хорошо известно, что в естественной смеси кислорода содержится всего 0,2% тяжелого кислорода ^{18}O . Поскольку специально

обогащение тяжелым кислородом $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ не проводилось, наиболее вероятным происхождением наблюдаемого феномена являются технология выращивания кристаллов: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ высокая температура, низкое парциальное давление по кислороду, обеспеченное углеродным окружением (Способ получения профилированных монокристаллов оксида алюминия для термолюминесцентной дозиметрии. А.с. СССР №1340365 от 22.05.1987. Авторы: Л.М. Затуловский, Д.Я. Кравецкий, И.И. Мильман и др.). В этих условиях кислород диффундирует из решетки оксида алюминия, переводя состав соединения в нестехиометрическую форму ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$). При этом можно полагать, что из-за разницы массы и размеров в первую очередь решетку оксида покидают атомы обычного кислорода. Тогда, возможно, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ становится обогащенным тяжелым кислородом.

Торможение позитронов и поглощение аннигиляционных гамма-квантов в кристалле $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ вызывает яркое свечение возбужденных центров F-типа. Как показали наши измерения, кинетика затухания люминесценции (Фиг. 3, кривая 2) полностью совпадает со временем распада наведенной радиоактивности изотопа ^{18}F (С.С. Зырянов, И.И. Мильман, О.В. Рябухин. Применение детекторов ТЛД - 500 К для измерения флюенса ускоренных протонов. Проблемы спектрометрии и спектроскопии. Вузовско-академический сборник научных трудов. Выпуск 26, Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2010, 209 - 213). Таким образом, люминесценция, обусловленная источником радиоактивности внутри материала защитного покрытия, является еще одним значимым каналом освещения рабочей поверхности ФЭП, обеспечивая работу преобразователя в космических условиях, в том числе в области солнечной тени. Количественные данные о вероятности возбуждения $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ - ядерной реакции в зависимости от энергии протонов (E. Hess et. al. Excitation function of the $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ nuclear reaction from threshold up to 30 MeV) показывают, что реакция реализуется в диапазоне энергии 4-14 МэВ с максимумом около 5 МэВ вблизи пика в распределении по энергии протонов в космосе. Энергия и, соответственно, пробеги продуктов реакции, позитронов и гамма-квантов относительно малы (~0,6 мм для 500кэВ электронов в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и не приводят к радиационному дефектообразованию в случае их попадания в поверхностные слои кремниевого ФЭП. Толщина защитного покрытия выбирается из планируемой радиационной обстановки при решении с помощью космического аппарата конкретной задачи. С учетом пробега протонов с энергией 40 и 5 МэВ в выбранном материале защитного покрытия его толщина составляет около 4 мм. Эффективный пробег электронов с энергией 1 МэВ в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ составляет около 2 мм. При выборе толщины защитного слоя учитывается его вес и тот факт, что с увеличением объема материала растет интенсивность люминесценции во всех вариантах ее проявлений. Учитывая приведенные выше оценки, сравнение с данными литературы, изобретения, принятого за прототип ($Z_{\text{эфф}} \text{Al}_2\text{O}_3 \leq Z'_{\text{эфф}} \text{ закаленного стекла}$), и экспериментальные результаты авторов предлагаемого изобретения, оптимальная толщина защитного покрытия выбрана в пределах 4-5 мм. Выход реакции $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ существенно увеличивается путем обогащения $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ тяжелым кислородом, в соответствии с этим растет интенсивность РЛ, индуцированная внутренним источником ^{18}F , дополнительно обеспечивая световой энергией ФЭП в полной темноте. При этом дополнительно возрастают накопленные и высвеченные светосуммы в ТЛ и ОСЛ.

Сущность изобретения заключается в том, что конструкция фотоэлектрического

модуля космического базирования, включающая нижнее защитное покрытие, на котором с помощью полимерной пленки закреплены кремниевые солнечные элементы с антиотражающим просветляющим покрытием, и расположенное над лицевой поверхностью солнечных элементов верхнее защитное покрытие, которое скреплено с солнечными элементами промежуточной пленкой из оптически прозрачного полимерного материала, а со стороны лицевой поверхности кремниевых солнечных элементов и в антиотражающее просветляющее покрытие кремниевых солнечных элементов введен оптически активный слой, представляющий собой оптически прозрачный полимер, содержащий антистоксовый люминофор, отличающаяся тем, что верхнее и нижнее защитные покрытия выполнены из оптически активных кислородосодержащих материалов типа монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$, способных к люминесценции под действием потоков заряженных частиц, ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-квантов, накоплению и высвечиванию светосумм при естественной оптической и термической стимуляции. При этом оптически активный кислородосодержащий материал защитных покрытий типа монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ обогащен тяжелым кислородом.

Результаты экспериментальной проверки реализации предлагаемого изобретения иллюстрируются представленными ниже фигурами. Измерения тока короткого замыкания проводились со стандартным фотоэлектронным преобразователем наземного применения. Защитным покрытием элемента являлась пластина анион-дефектного оксида алюминия толщиной 4 и 5 мм. В качестве источника света использовалась ксеноновая лампа как аналог спектра солнечного света в атмосфере. Спектральная чувствительность ФЭП измерялась по стандартной методике: источник света → монохроматор → ФЭП → измеритель тока. Оптические спектры возбуждения люминесценции и люминесценции материала покрытия измерялись по стандартной методике: источник света → монохроматор → пластина защитного покрытия → монохроматор → фотоэлектронный умножитель и ФЭП. Работоспособность ФЭП с защитным покрытием изучалась при бомбардировке электронным пучком с энергией 110 кэВ и током в импульсе несколько килоампер, после облучения измерялись накопленные светосуммы в режимах ТЛ и ОСЛ. Были проведены также измерения спектров излучения, поступающих на чувствительный слой ФЭП, его согласование со спектральной чувствительностью. Одновременное облучение ФЭП светом ксеноновой лампы и электронным пучком демонстрирует рост эффективности преобразования. Аналогичный рост эффективности преобразования наблюдался после облучения защитного покрытия протонами за счет образования внутри него радиоактивного изотопа фтора-18. С учетом результатов, приведенных в литературных источниках, в том числе и авторов предлагаемого изобретения, используемых при описании сущности изобретения, экспериментальная проверка показала работоспособность предлагаемого изобретения. На Фиг. 4 приведены спектральная чувствительность имеющегося в нашем распоряжении солнечного ФЭП наземного применения (кривая 1) и энергетический спектр неконцентрированного солнечного излучения (кривая 2) (Ж. И. Алферов и др. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. Физика и техника полупроводников, 2004, том. 38, вып.8, 937-948). Рисунок показывает участок спектра солнечного излучения, использующийся для работы ФЭП. Фиг. 5 представляет взаимное расположение спектральной чувствительности ФЭП (кривая 1) и полос люминесценции во всех вариантах ее происхождения, описанных выше для защитных покрытий на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$, обусловленной структурными (центры F-типа) и примесными

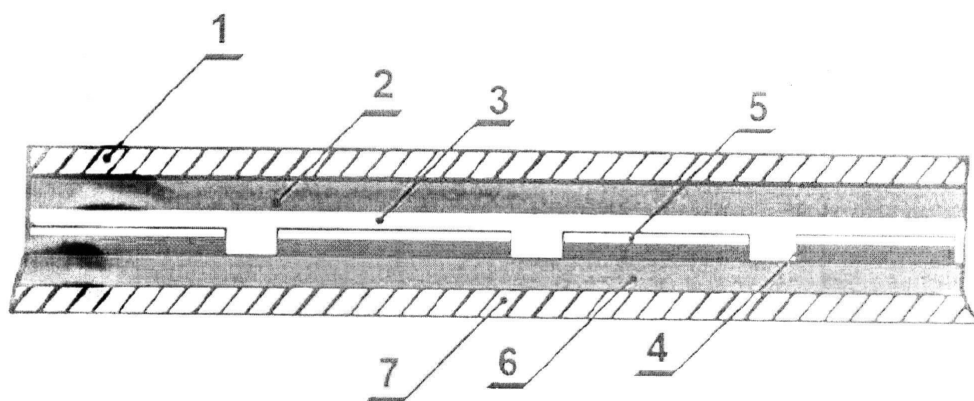
дефектами (Cr^{3+} , Ti^{3+}) (кривая 2). Для сравнения, на фигуре цифрами 3 и 4 отмечены длины волн 546 и 670 нм, использующиеся для повышения эффективности ФЭП в изобретении, принятом за прототип. Данные этого рисунка показывают значительно более широкий спектральный диапазон оптического излучения, поступающего на вход ФЭП в предлагаемом изобретении, по сравнению с прототипом. На Фиг. 6 приведена зависимость тока короткого замыкания ФЭП при совместном воздействии света ксеноновой лампы и электронного пучка. При этом ток электронного пучка не изменялся, а интенсивность оптического излучения увеличивалась в измерениях от №1 до №4. На этом рисунке отсутствие штриховки на столбиковой диаграмме соответствует току короткого замыкания в относительных единицах, генерируемому ФЭП при облучении электронным потоком, а ее присутствие - оптическому излучению. Позиции с номерами 2, 3, и 4 соответствуют совместному действию оптического и электронного облучения ФЭП. Из этого рисунка следует принципиальная возможность работы ФЭП с предложенным защитным покрытием как при облучении заряженными частицами в области солнечной тени, так и при совместном действии солнечного излучения и потоков космической радиации. На Фиг. 7 приведены кривые термовысвечивания образцов защитных покрытий, облученных при низкой температуре рентгеновским, кривая 1, и ультрафиолетовым излучением, кривая 2. Этот результат свидетельствует о возможности освещения ФЭП при низкой температуре. На Фиг. 8 приведены кривые термовысвечивания образцов защитных покрытий, облученных электронным пучком ускорителя. Видно, что нагрев облученных защитных покрытий до 300°C является источником дополнительного освещения ФЭП. Фиг. 9 иллюстрирует эмиссию света облученными защитными покрытиями при оптической стимуляции солнечным светом. Проведенные испытания подтвердили работоспособность предлагаемого изобретения.

Формула изобретения

1. Конструкция фотоэлектрического модуля космического базирования, включающая нижнее защитное покрытие, на котором с помощью полимерной пленки закреплены кремниевые солнечные элементы с антиотражающим просветляющим покрытием, и расположенное над лицевой поверхностью солнечных элементов верхнее защитное покрытие, которое скреплено с солнечными элементами промежуточной пленкой из оптически прозрачного полимерного материала, а со стороны лицевой поверхности кремниевых солнечных элементов и в антиотражающее просветляющее покрытие кремниевых солнечных элементов введен оптически активный слой, представляющий собой оптически прозрачный полимер, содержащий антистоксовый люминофор, отличающаяся тем, что верхнее и нижнее защитные покрытия выполнены из оптически активных кислородосодержащих материалов типа монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$, способных к люминесценции под действием потоков заряженных частиц, ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-квантов, накоплению и высвечиванию светосумм при естественной оптической и термической стимуляции.

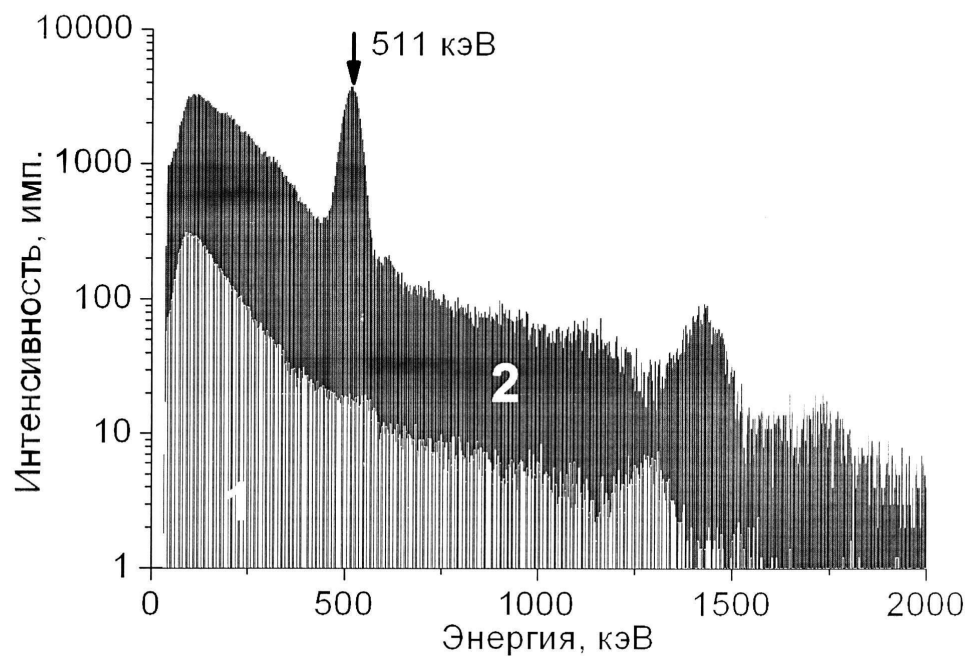
2. Конструкция фотоэлектрического модуля космического базирования по п. 1, отличающаяся тем, что оптически активный кислородосодержащий материал защитных покрытий типа монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-x}$ обогащен тяжелым кислородом.

**КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ
КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ**



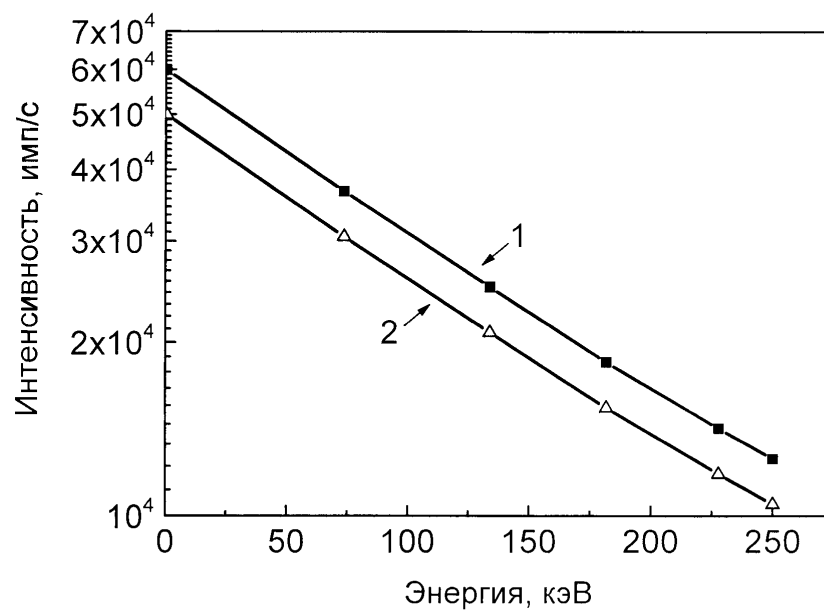
Фиг. 1

**КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ
КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ**



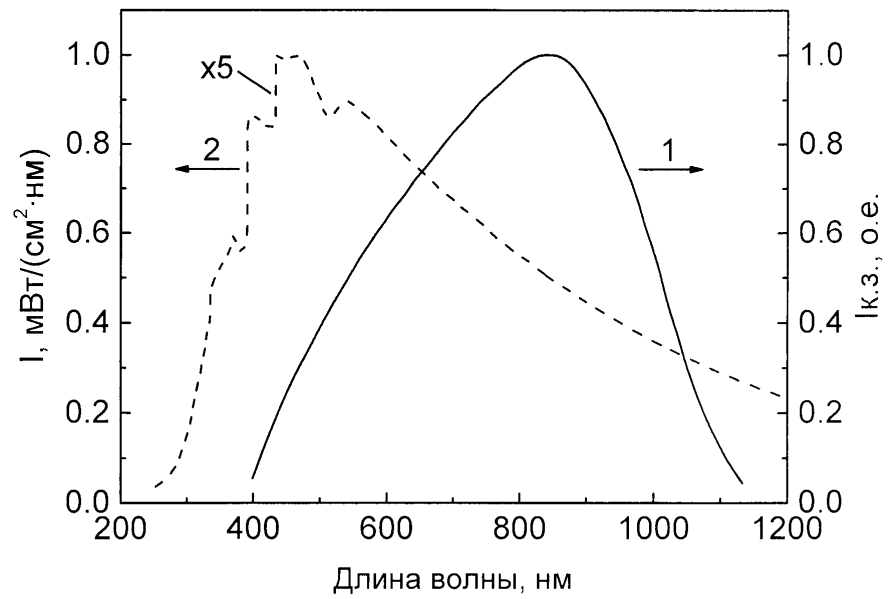
Фиг. 2

КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



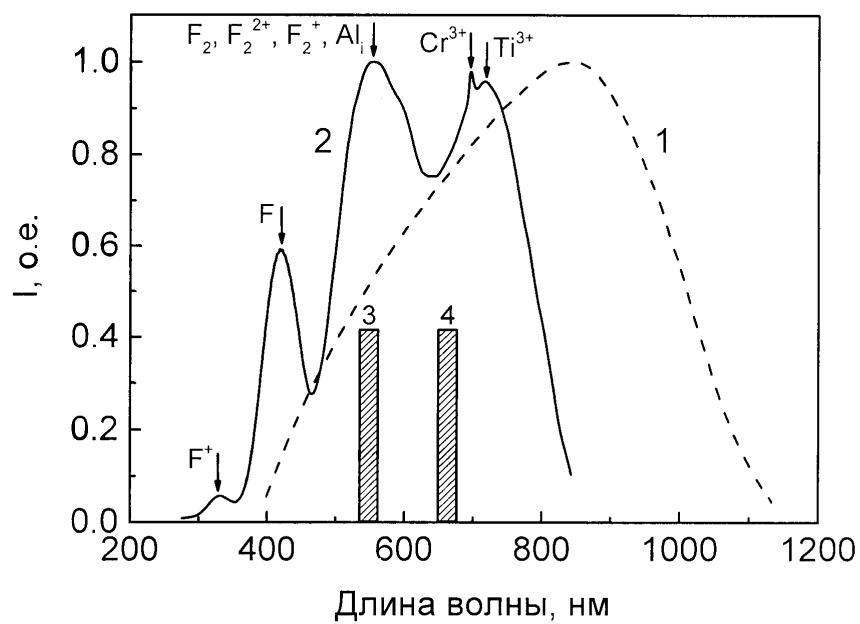
Фиг. 3

КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



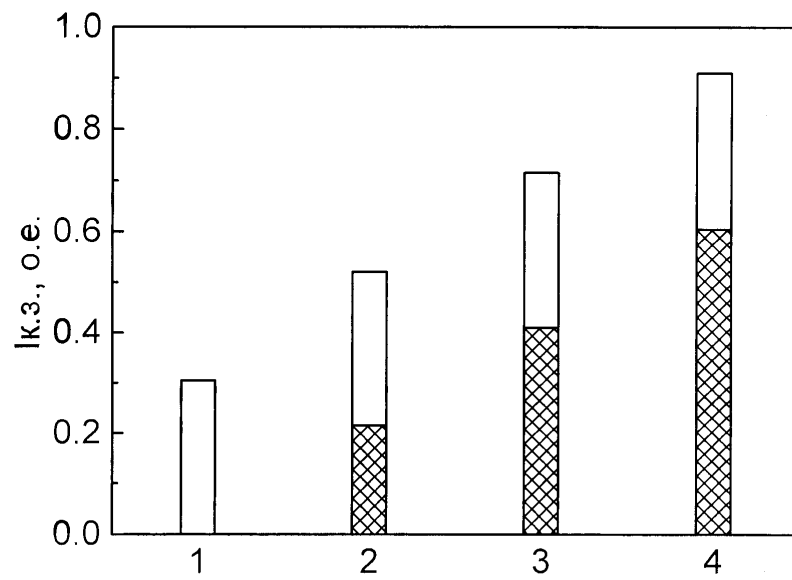
Фиг. 4

КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



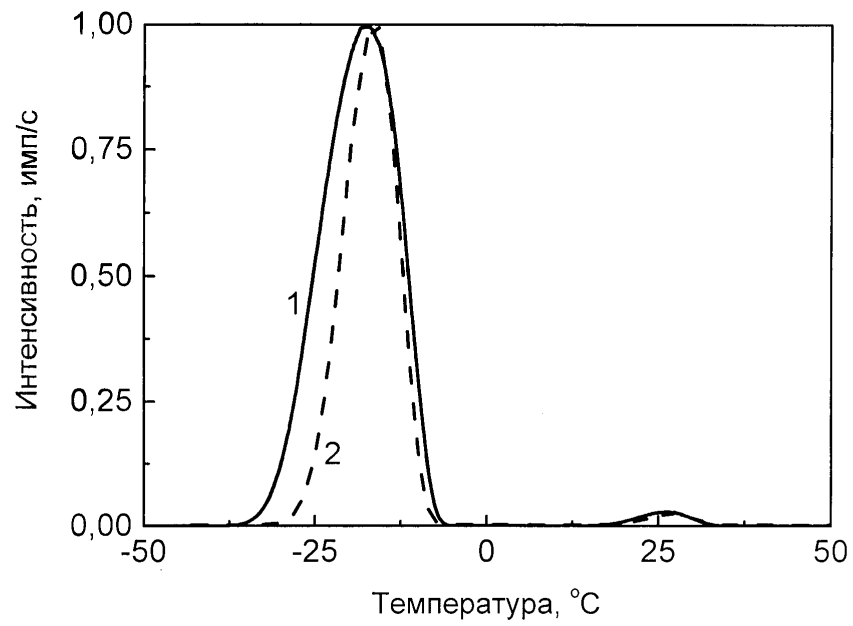
Фиг. 5

КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



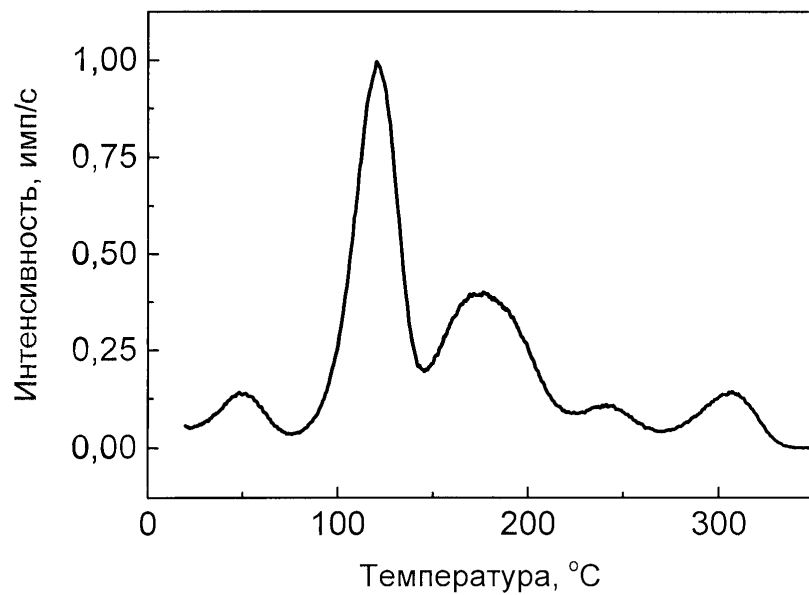
Фиг. 6

**КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ
КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ**



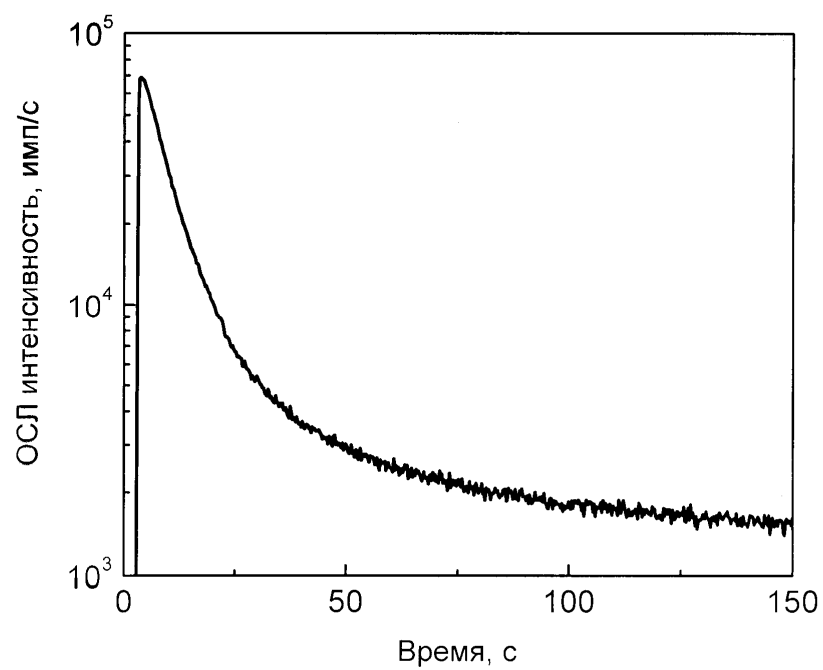
Фиг. 7

**КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ
КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ**



Фиг. 8

КОНСТРУКЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



Фиг. 9